

Etude des performances des traitements acoustiques axialement non uniforme dans les conduits

Mohamed Taktak ^(1,2), Jean Michel Ville ⁽¹⁾, Mohamed Haddar ⁽²⁾ & Félix Foucart ⁽¹⁾

Laboratoire Roberval FRE UTC-CNRS No. 2833
Université de Technologie de Compiègne, BP 20529, F 60205, Compiègne Cedex France
Unité de Modélisation, Mécanique et Production (U2MP)
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, BP W 3038, Sfax, Tunisie
mohamed.taktak@utc.fr

Résumé :

Dans ce papier, la performance d'un tronçon traité avec une configuration segmentée axialement de matériaux absorbants a été évaluée. L'évaluation est basée sur la mesure de la matrice de diffusion multimodale par une méthode développée à l'Université de Technologie de Compiègne. La comparaison des différents coefficients de la matrice de diffusion et de la dissipation acoustique déduite de cette matrice pour les configurations segmenté et uniforme a permis de mettre en évidence l'influence de l'ordre de segmentation par rapport à l'emplacement de la source ainsi que l'augmentation de l'efficacité de ce type de traitement.

Abstract :

In this paper, the performance of a lined duct with an axially segmented liners configuration was tested. The evaluation is based on a measurement of the multimodal scattering matrix by a method developed in the University of Technology of Compiègne. The comparison of several coefficients of the scattering matrix and the acoustic dissipation deduced from this matrix for segmented and uniform configurations pointed out the influence of the segmentation with regard to the source location as well as an increase of the efficiency of this kind of liner.

Mots-clefs : Matrice de Diffusion ; Matériau localement réactif ; Dissipation

1 Introduction

Pour réduire le bruit rayonné par les entrées d'air de moteurs d'avion, les constructeurs disposent sur la périphérie des matériaux localement réactifs de type nid d'abeille accordés sur le spectre d'émission de la source et exposés à une pression acoustique distribuée sur la base des modes du conduit.

Pour augmenter l'efficacité du traitement divers dispositifs ont été testés et sont déjà mis en place comme les matériaux à plusieurs degrés de liberté. Une autre technique consiste à distribuer suivant l'axe du conduit des tronçons recouverts de matériaux localement réactifs d'impédance différente pour élargir le domaine des fréquences et l'atténuation. Cette disposition a été étudiée théoriquement par McAlpine *et al.* (2006) qui ont montré l'efficacité de ce type de traitement.

Au laboratoire Roberval de l'Université de Technologie de Compiègne une technique de mesure des caractéristiques d'une discontinuité a été développée basée sur la détermination de la matrice de diffusion dont on déduit la dissipation acoustique. Nous présentons dans ce papier une comparaison des coefficients modaux des matrices de diffusion et de la dissipation d'un tronçon recouvert par un matériau localement réactif uniforme et d'un autre recouvert par un matériau segmenté suivant son axe en deux matériaux localement réactifs d'impédance différente pour mettre en évidence les transformations qui sont à l'origine des dissipations observées avec les deux types de traitement.

Après avoir défini la matrice de diffusion dans la section 2, la technique de mesure de la matrice est présentée dans la troisième section. La quatrième section présente le calcul de la dissipation acoustique à partir de la matrice de diffusion. Dans la cinquième section, les résultats expérimentaux pour les deux configurations étudiées sont comparés et analysés.

2 Matrice de diffusion multimodale

La matrice de diffusion multimodale $[D]$ d'un conduit comportant un tronçon traité localisé entre les coordonnées axiales z_G et z_D relie linéairement le vecteur des pressions modales entrantes et le vecteur des pressions modales sortantes (FIG. 1 (a)) :

$$\{P^{so}\}_{2N} = \begin{bmatrix} [D^{11}]_{N \times N} & [D^{12}]_{N \times N} \\ [D^{21}]_{N \times N} & [D^{22}]_{N \times N} \end{bmatrix}_{2N \times 2N} \times \{P^{en}\}_{2N} \quad (1)$$

N représente le nombre des modes propagatifs dans le conduit de mesure. Le vecteur $\{P^{en}\}_{2N}$ regroupe les pressions modales incidentes $P_{mn}^i(z_G)$ et rétrogrades $P_{mn}^{ir}(z_D)$. Le vecteur $\{P^{so}\}_{2N}$ regroupe les pressions modales réfléchies $P_{mn}^r(z_G)$ et transmises $P_{mn}^t(z_D)$, m et n sont respectivement les nombres d'onde angulaire et radial.

La matrice de diffusion multimodale caractérise le tronçon de manière indépendante des conditions acoustiques à l'entrée et la sortie. Elle contient des informations détaillées par mode des propriétés de réflexion, de transmission et de conversion du tronçon. $[D_{mn,pq}^{11}]$ et $[D_{mn,pq}^{21}]$ représentent respectivement la réflexion et la transmission du mode (p,q) sur le mode (m,n) associées à la propagation dans le sens des z positifs, $[D_{mn,pq}^{22}]$ et $[D_{mn,pq}^{12}]$ représentent respectivement la réflexion et la transmission du mode (p,q) sur le mode (m,n) associées à la propagation dans le sens des z négatifs.

3 Technique expérimental de mesure de la matrice de diffusion multimodale

La mesure de la matrice de diffusion multimodale est effectuée par l'équipement installé dans la chambre anéchoïque de l'UTC présenté sur la FIG. 1 (b). Le dispositif et la procédure de la mesure sont détaillés dans Sitel *et al.* (2006). La bande de fréquence étudiée est [0-2700 Hz]. L'expérience est répétée 20 fois : 5 sources avec 4 charges qui ont été choisies afin d'assurer la génération des vecteurs modaux d'entrée linéairement indépendantes. Enfin, les matrices des pressions entrantes $[P^{en}]_{10 \times 20}$ et des pressions sortantes $[P^{so}]_{10 \times 20}$ sont remplies par les vecteurs des coefficients modaux $\{P_{mn}^i(z_G)\}$, $\{P_{mn}^t(z_D)\}$, $\{P_{mn}^r(z_G)\}$ et $\{P_{mn}^{ir}(z_D)\}$. La matrice de diffusion $[D]_{10 \times 10}$ est obtenue à partir de l'équation suivante :

$$[D]_{10 \times 10}^T = \left[\left[[P^{en}]^* \right] \cdot [P^{en}]^T \right]^{-1} [P^{en}]^* \cdot [P^{so}]^T \quad (2)$$

L'atténuation du tronçon étudié et l'absence d'une source sonore du côté charge conduisent à un mauvais rapport signal/bruit de l'onde sonore qui se propage dans le sens des z négatifs (Sitel (2005)), ce qui provoque une erreur importante sur les coefficients associées aux matrices $[D^{22}]$ et $[D^{12}]$. Pour résoudre ce problème, la procédure expérimentale est appliquée deux fois : la première configuration de gauche à droite : source - matériau absorbant M_I - matériau

absorbant M_2 – charge pour déterminer les coefficients des matrices $[D^{11}]$ et $[D^{21}]$, la deuxième configuration en retournant le tronçon pour déterminer les coefficients des matrices $[D^{22}]$ et $[D^{12}]$.

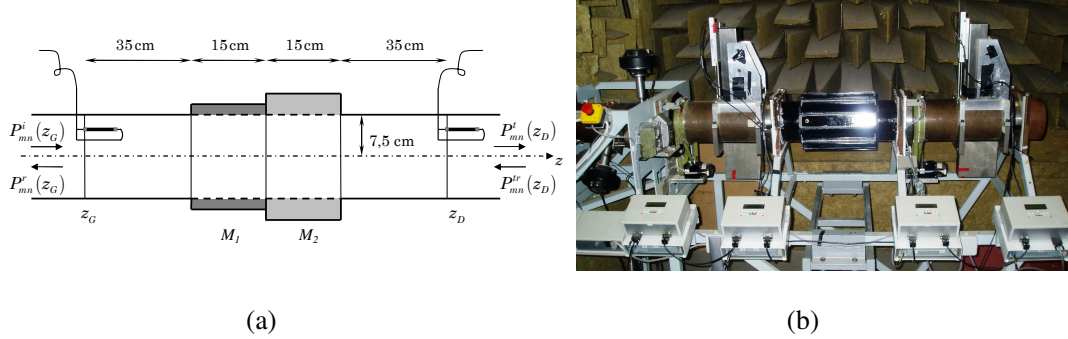


FIG. 1 – Dispositif expérimental (a) présentation schématique (b) conduit de mesure à l’UTC

4 Calcul de la dissipation acoustique

La dissipation acoustique W_{dis} du tronçon étudié est la différence entre la puissance totale acoustique dans les sections situées en z_G et z_D . Cette dissipation peut être calculée à partir de la matrice de diffusion d’après Aurégan et Starobinski (1999) :

$$W_{dis}(dB) = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^{2N} |d_i|^2}{\sum_{i=1}^{2N} \lambda_i |d_i|^2} \right) \quad (3)$$

Avec $\lambda_1, \dots, \lambda_{2N}$ les valeurs propres de la matrice $[H]$ définie par :

$$[H] = [X][D][X]^{-1}]^{T*} \cdot [X][D][X]^{-1} ; [X] = [\text{diag}(\sqrt{N_{mn} \cdot k_{mn} / 2c_0 \rho_0 k})] \quad (4)$$

$d_i = \{\Pi^{en}\}_{2N}^{*T} \cdot \{U^i\}_{2N}$, $\{U^i\}_{2N}$ est le vecteur propre associé à la valeur propre λ_i de la matrice $[H]$, $\{\Pi\}_{2N}^{en} = [X]\{P_{mn}^{en}\}_{2N}$, $N_{mn} = SJ_m^2(\chi_{mn})[1 - m^2/\chi_{mn}^2]$ est le coefficient de normalisation associé au mode (m, n) , k_{mn} est le nombre d’onde axial, c_0 est la célérité du son, ρ_0 est la masse volumique de l’air, k est le nombre d’onde, S est la section du conduit, J_m est la fonction de Bessel de 1^{ère} espèce d’ordre m et χ_{mn} est le $n^{\text{ième}}$ zéro de sa dérivée première. De cette expression on déduit la dissipation du tronçon associé à un vecteur choisi des pressions entrantes à gauche et/ou à droite. Ici on traite deux cas séparés d’une pression entrante à gauche $(\{P^{en}\}_G = \langle 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \rangle^T)$ et d’une pression entrante à droite $(\{P^{en}\}_D = \langle 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \rangle^T)$.

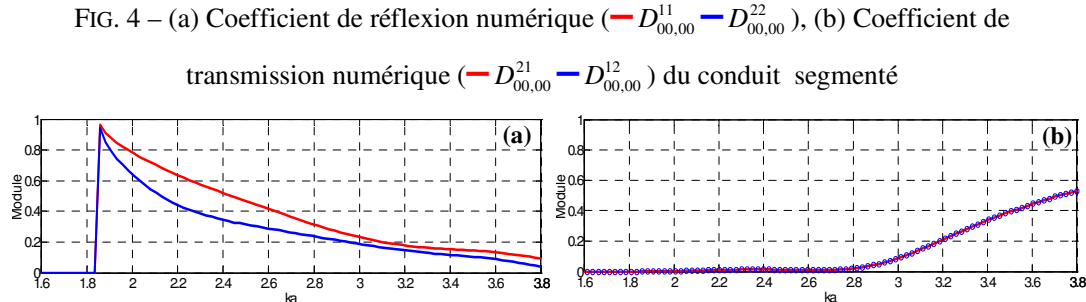
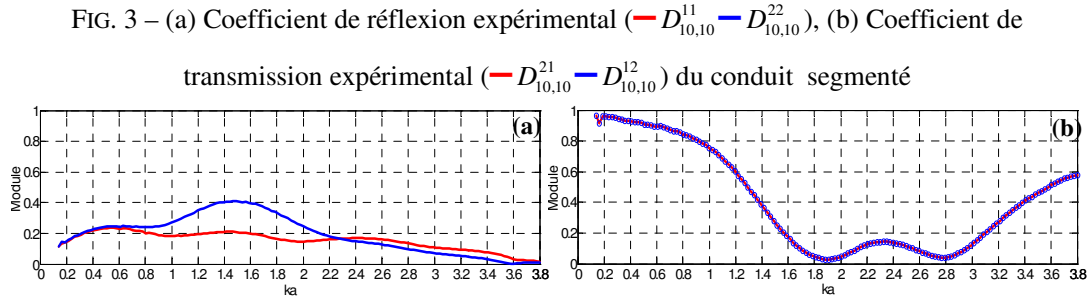
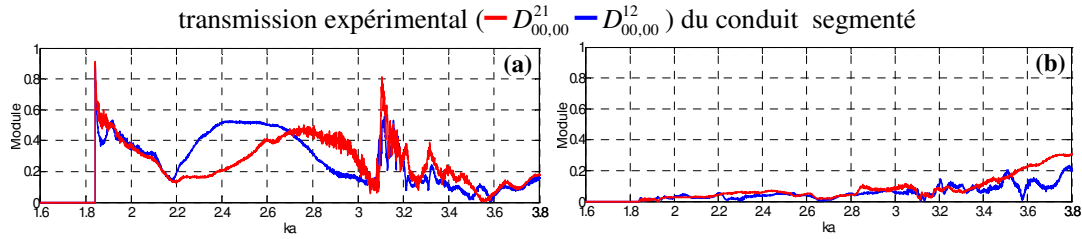
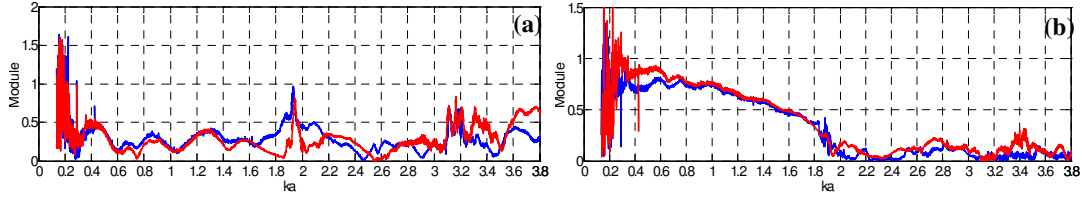
5 Résultats Expérimentaux

La matrice de diffusion du tronçon compris entre z_G et z_D est mesurée. Ses dimensions sont présentées dans la FIG. 1 (a). Les matériaux utilisés sont de type localement

réactif composés d'une plaque perforée d'épaisseur 1 mm avec un taux de perforation de 2,5% et un diamètre de trou de 1mm, d'une structure de nids d'abeille et d'une plaque rigide, ils diffèrent par l'épaisseur de la structure de nids d'abeille (8 mm pour M_1 et 16 mm pour M_2).

5.1 Etude des coefficients de la matrice de diffusion

Les FIGS. 2 et 3 présentent respectivement une comparaison entre les modules mesurés pour le mode plan et pour le mode (1,0) des coefficients de la matrice de diffusion du conduit segmenté associés à la propagation dans le sens des z positifs (rouge) et négatifs (bleu) en fonction du nombre d'onde adimensionnel ka (a étant le rayon du conduit). On note que les coefficients de transmission dans les deux sens sont similaires ce qui n'est pas le cas pour les coefficients de réflexion.



Les résultats d'une étude théorique du problème étudié basée sur une modélisation numérique développée par Taktak *et al.* (2006) sont tracés respectivement sur les FIGS. 4 et 5 pour le mode plan et le mode (1,0). Les résultats numériques et expérimentaux sont similaires. Les coefficients de transmission sont des paramètres globaux et ne dépendent que des caractéristiques acoustiques globales du tronçon et pas du sens de propagation de l'onde sonore.

Une comparaison des coefficients mesurés des matrices de diffusion des configurations segmentée et uniforme est faite. Deux configurations uniformes, avec une partie traitée de 30 cm de longueur, sont utilisées : la première avec le matériau M_1 , la deuxième avec le matériau M_2 . Les FIGS. 6 et 7 présentent respectivement le module des coefficients des ces matrices expérimentales relatifs au mode plan et (2,0).

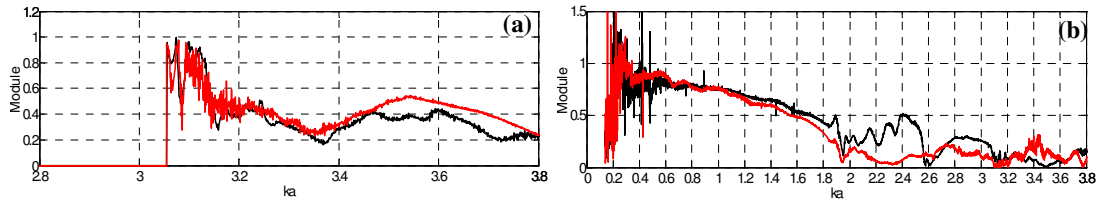


FIG. 6 – (a) Coefficient de réflexion expérimental $D_{20,20}^{11}$, (b) Coefficient de transmission expérimental $D_{00,00}^{21}$ du conduit segmenté (—) et du conduit uniforme (— M_1)

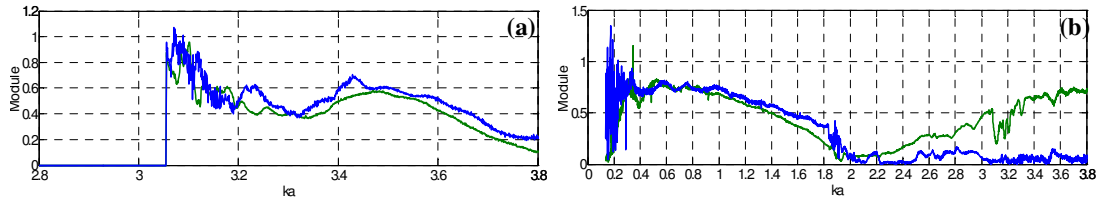


FIG. 7 – (a) Coefficient de réflexion expérimental $D_{20,20}^{22}$, (b) Coefficient de transmission expérimental $D_{00,00}^{12}$ du conduit segmenté (—) et du conduit uniforme (— M_2)

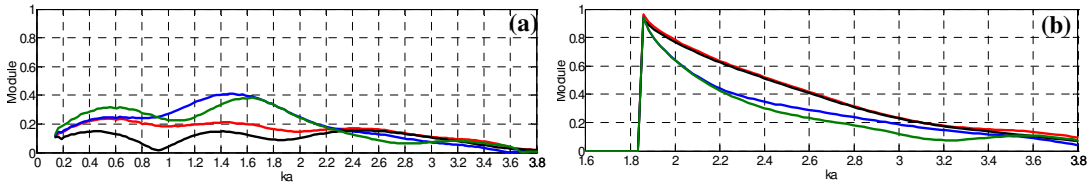


FIG. 8 – (a) Coefficients de réflexion numérique (— $D_{00,00}^{11}$, — $D_{00,00}^{22}$) du conduit segmenté, ($D_{00,00}^{11}$: — M_1 , — M_2) des conduits uniformes (b) Coefficient de transmission numérique (— $D_{10,10}^{11}$, — $D_{10,10}^{22}$) du conduit segmenté, ($D_{10,10}^{11}$: — M_1 , — M_2) des conduits uniformes

Les coefficients de réflexion de la configuration segmentée relatifs au sens des z positifs (FIG. 6) se rapprochent de ceux mesurés avec la configuration uniforme M_1 (idem pour les coefficients de réflexion de la configuration segmentée relatifs au sens des z négatifs avec les coefficients de réflexion de la configuration uniforme M_2). Les résultats numériques sont tracés sur la FIG. 8 pour les modes plan et (2,0). Les résultats numériques et expérimentaux sont similaires. Les coefficients de réflexion dépendent de l'ordre de segmentation des matériaux et du sens de propagation de l'onde. Ces résultats sont expliqués par la similitude des conditions

de réflexion du côté gauche du tronçon segmenté avec celles du tronçon avec matériau uniforme M_1 (idem pour le côté droit avec la configuration uniforme avec le matériau M_2).

5.2 Etude de la dissipation acoustique

La dissipation acoustique est déduite de la matrice de diffusion expérimentale pour les trois configurations du tronçon dans deux cas : le premier d'une onde entrante du côté gauche du conduit, le deuxième d'une onde entrante du côté droit. Ces dissipations sont présentées dans la FIG. 9. Ces résultats montrent l'efficacité de la configuration segmentée. En effet, non seulement on remarque une augmentation de la dissipation (25 dB (cas n°1) et 20 dB (cas n°2) par rapport à 16 dB pour la configuration uniforme M_2 et 12 dB pour la configuration uniforme M_1), mais aussi un élargissement de la bande de fréquence dans laquelle le traitement est efficace. Cette augmentation est le résultat de l'introduction de discontinuités d'impédance provoquant des phénomènes de conversion de mode supplémentaires par rapport à la configuration uniforme McAlpine *et al.* (2006).

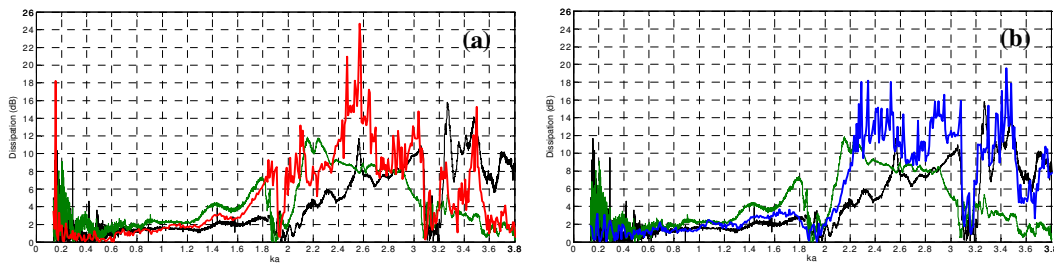


FIG. 9– Dissipation acoustique (a) cas n°1 segmenté (— z +) uniformes (— M_1 — M_2), (b) cas n°2 segmenté (— z –) uniformes (— M_1 — M_2)

6 Conclusions

Cette étude a mis en évidence une meilleure efficacité des traitements axialement non uniformes par l'augmentation de l'atténuation et l'élargissement de la bande d'action de traitement. Elle a permis aussi de vérifier expérimentalement les résultats des études théoriques précédentes de ce type de configuration. La comparaison des configurations segmentée et uniforme a permis de montrer l'influence de l'ordre de segmentation par rapport à l'emplacement de la source sur le comportement de ces traitements.

Références

- MacAlpine, A., Astley R.J., Hii, V.J.T, Backer, N.J. et Kempton A.J. 2006 Acoustic scattering by an axially-segmented turbofan inlet duct liner at supersonic fan speeds. *J. Sou. Vib.* **294**, 780-806
- Sitel, A., Ville, J.M. et Foucart, F., 2006 Multimodal procedure to measure the acoustic scattering matrix of a duct discontinuity for higher order mode propagation conditions. *J. Acoust. Soc. Am.* **120**(5), 2478-2490
- Aurégan, Y. et Starobinski, R. 1999 Determination of Acoustical energy Dissipation/Production Potentiality from the acoustical transfer functions of a multiport. *Acut. Acta Acust.* **85**, 788-792
- Taktak, M., Haddar, M., Ville, J.M., Sitel A., Gabard G., et Foucart F., 2006 Mesure de la matrice de diffusion multimodale d'un tronçon traité. 8^{ème} Congrès Français d'acoustique. Tours, France.
- Sitel, A., 2005 Méthodes de mesure des matrices acoustiques des discontinuités à un ou deux ports en présence des modes élevés. Thèse à l'Université de Technologie de Compiègne.